

# MENGOPTIMALKAN PETA KERAWANAN LONGSOR LAHAN PADA ANALISIS REGRESI LOGISTIK DENGAN PENDETAILAN PETA GEOLOGI DI DAERAH ALIRAN SUNGAI KLADEN, KABUPATEN REMBANG, JAWA TENGAH

*(Optimizing Landslide Susceptibility Map on Logistic Regression Model with Detailed Geological Map in the Kladen Watershed, Rembang Regency, Jawa Tengah)*

Hafiz Fatah Nur Aditya<sup>1\*</sup>, D Mardiatno<sup>2\*</sup>, G Samodra<sup>2\*</sup>,

<sup>1</sup>Magister Perencanaan Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai (MPPDAS) Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Dosen Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada  
Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia 55281

\*Corresponding email: [hafizfatahnur@gmail.com](mailto:hafizfatahnur@gmail.com)

Doi: 10.20956/ecosolum.v11i1.19566

## ABSTRACT

Landslides are common problems in watershed management due to their social and economic impacts. Landslide susceptibility mapping is needed to identify areas that need priority in the mitigation program. In landslide susceptibility mapping, the most commonly used geological map is regional map, which is not suited for small to medium-sized areas such as the Kladen watershed, in Rembang, Central Java. This study aims to improve the available geological map with a more detailed lithological unit than regional geological maps, and produce susceptibility maps using geological, geomorphological, and land cover variables. A comparison was performed between the results obtained with the regional geological map and the improved geological map. The logistic regression was selected as it has provided high accuracy for landslide hazard analysis, and does not depend on the subjectivity of the researcher. The results of the landslide susceptibility analysis with regional geological maps show that the lithological factor is statistically insignificant, while in the analysis with a more detailed geological map, it was significant and has higher relevancy than the geomorphology and land cover. The predictive performance test of both models with the area under the curve method shows that the improvement of the geological map increases the performance value from 0,704 to 0,782, producing more reliable landslide susceptibility map.

Keywords: landslides, geological map, logistic regression

## PENDAHULUAN

Fenomena longsor lahan merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang penting untuk dikelola dalam proses perencanaan wilayah dan mitigasi bencana. Longsor lahan dapat terjadi di seluruh dunia dan telah menyebabkan jatuhnya korban jiwa serta kerugian harta benda dalam jumlah besar, dan mengakibatkan kerusakan parah pada ekosistem, sumber daya alam, dan

infrastruktur (Guzzetti, Mondini, Cardinali, Fiorucci, & Sant, 2012). Salah satu upaya untuk mengurangi ancaman korban jiwa dan kerusakan akibat bencana ini adalah dengan menyusun peta yang menunjukkan wilayah-wilayah dengan kerawanan yang tinggi terhadap longsor lahan (Nhu, Shirzadi, Shahabi, Singh, & Al-Ansa, 2020).

Zonasi kerawanan longsor lahan dilakukan berdasarkan hubungan antara lokasi kejadian-kejadian longsor lahan dengan faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya longsor melalui metode statistik dan sistem informasi geografis (Cardenas dan Mera, 2016). Menurut kajian (Budimir, P, & H, 2015) dan (Reichenbach, Rossi, Malamud, Mihir, & Guzzett, 2018), empat faktor yang paling signifikan memengaruhi longsor lahan adalah litologi, kemiringan lereng, aspek lereng, dan tutupan lahan. Berbagai macam metode statistik dalam kajian kerawanan longsor lahan pada umumnya memiliki ketepatan prediksi yang tinggi, dengan metode regresi logistik secara rata-rata menghasilkan angka *error* yang paling kecil dibanding model statistik lainnya (Brenning, 2005)

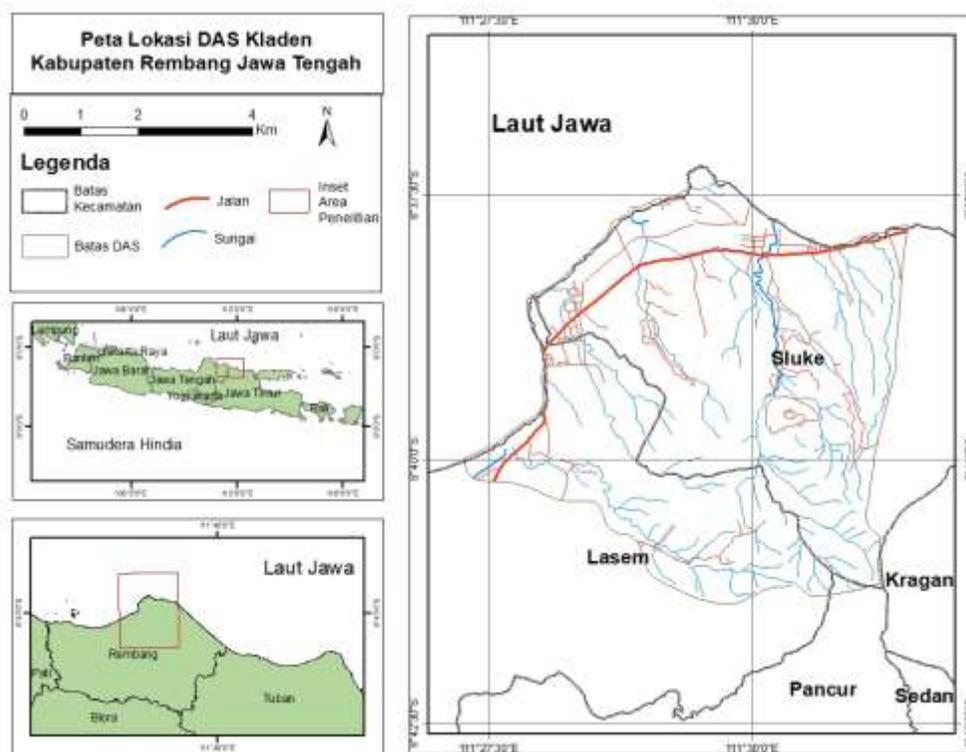
Di Indonesia, parameter geologi yang digunakan pada analisis kerawanan longsor lahan pada umumnya didapatkan dari peta geologi regional yang disusun berdasarkan data topografi berskala kecil, yaitu 1:100.000 atau 1:250.000. Sebagai faktor pengontrol yang berperan besar dalam zonasi kerawanan longsor lahan, peta geologi yang lebih rinci tentu kemungkinan besar dapat menjadi basis data yang lebih baik daripada peta geologi regional ( (Bhandari & Dhakal, 2018); (Henriques, Zêzere, & Marques, 2015)). Penelitian ini bertujuan untuk menyusun dua peta kerawanan longsor lahan dengan berbasis peta geologi regional dan peta geologi yang lebih rinci menggunakan model statistik regresi logistik. Perbandingan dilakukan pada dua peta kerawanan untuk menilai signifikansi penggunaan peta geologi yang lebih rinci sebagai variabel dalam analisis kerawanan.

## **METODOLOGI**

### **Lokasi Penelitian**

Daerah Aliran Sungai (DAS) Kladen terletak di bagian timur dan utara Provinsi Jawa Tengah, berbatasan dengan Provinsi Jawa Timur di sisi timurnya dan Laut Jawa di sisi utara. Secara geografis, lokasi penelitian terletak di antara titik koordinat 6°41'24" LS—6°37'13,5" LS dan 111°27'15,5" BT—111°31'29" BT. Secara administratif, DAS Kladen merupakan bagian dari

Kabupaten Rembang, dan termasuk ke dalam sebagian wilayah Kecamatan Sluke dan Kecamatan Lasem. Peta lokasi penelitian ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi DAS Kladen.

### Data Kejadian Longsor dan Peta-Peta Parameter

Data inventaris kejadian longsor lahan di wilayah penelitian didapatkan melalui survei secara langsung di lapangan, didukung dengan mewawancarai pemerintah dan warga desa di wilayah DAS Kladen. Data yang dikumpulkan dalam survei lapangan adalah titik koordinat lokasi terjadinya longsor lahan dan dimensi longsor lahan.

Penyusunan peta geologi skala 1:25.000 daerah penelitian dilakukan berdasarkan data primer dan data sekunder. Data sekunder berupa hasil studi peta geologi regional Lembar Rembang dan Jatirogo, interpretasi model elevasi digital, dan data jenis batuan dari peneliti terdahulu ( (Abdillah, Harijoko, & Wibowo, 2019); (Moktikanana, Harijoko, & Wibowo, 2019)). Data primer yang dikumpulkan melalui survei lapangan berupa jenis batuan, stratigrafi

singkapan batuan, jurus dan kemiringan lereng, dan morfologi di sekitar lokasi singkapan dengan metode observasi.

Data jenis batuan, jurus dan kemiringan lapisan, serta stratigrafi singkapan yang diperoleh dari survei digunakan untuk validasi peta geologi tentatif dan melengkapi informasi yang belum didapat dari data sekunder. Proses ini menghasilkan peta yang menunjukkan sebaran satuan batuan yang digunakan sebagai variabel dalam penyusunan peta kerawanan longsor lahan. Satuan batuan dikelompokkan berdasarkan klasifikasi batuan sedimen (Pettijohn, FJ, Potter, & Siever, 1975) dan klasifikasi batuan vulkaniklastik (Fisher, 1961) dengan penyesuaian nama versi Indonesia menurut Sandi Stratigrafi Indonesia (1996). Pengelompokan satuan batuan dititikberatkan pada faktor kemiripan ciri fisik batuan daripada kesamaan umur relatif atau kronologi terbentuknya batuan.

Model Elevasi Digital (DEM) dipakai untuk menghasilkan informasi topografi berupa kemiringan lereng (*slope*), aspek lereng, (*slope aspect*) dan kurvatur lahan (*curvature*). Model elevasi digital diperoleh dari data DEMNAS yang tersedia di Badan Informasi Geospasial (BIG), dengan skala 1:25.000 dengan interval ketinggian 12,5 m. Raster kemiringan lereng dan kurvatur lahan kemudian dibuat dengan perangkat *Spatial Analysis* pada program ArcMap 10.7. Aspek lereng dapat dibagi hingga delapan kelompok menurut arah mata angin menyesuaikan dengan kondisi yang ditemui di daerah penelitian. Kecekungan lahan dibagi menjadi tiga yaitu datar, cekung, dan cembung (Meten, PrakashBhandary, & Yatabe, 2015).

Data tutupan lahan diperoleh dari Peta Rupa Bumi Indonesia yang dirilis oleh BIG pada tahun 2018. Penggunaan lahan dikelompokkan menjadi permukiman dan tempat kegiatan, perkebunan/kebun, tegalan/ladang, sawah, semak belukar, dan hutan (Hadmoko, Lavigne, Sartohadi, Hadi, & Winaryo, 2010)

### **Metode Regresi Logistik dan Uji Validasi *Receiver Operating Curve* (ROC)A**

Pada penelitian ini, penilaian kerawanan longsor lahan ditentukan dengan analisis regresi logistik. Dua tahapan yang dijalankan ialah pembuatan model prediksi kerawanan longsor lahan dan uji validasi peta kerawanan yang dihasilkan model tersebut. Model prediksi dibuat berdasarkan analisis regresi logistik dari data inventaris kejadian longsor dan peta-peta parameter

yang memuat data faktor pendukung terjadinya longsor lahan menggunakan persamaan 2.2. Peta kerawanan dibagi menjadi lima kelas dengan pembagian alamiah (*natural break Jenks*). Untuk menguji validasi nilai kerawanan digunakan metode *Area Under Receiver Operating Curve* (AUROC). Proses penyusunan peta kerawanan dan uji validasi dilakukan dua kali dengan peta geologi regional dan peta geologi lebih detail berskala 1:25.000. Baik tahapan analisis regresi logistik maupun uji validasi dilakukan dengan program R 4.2.0. Program R 4.2.0 mampu mengolah data statistik dan data spasial sehingga memungkinkan dilakukannya analisis regresi logistik sekaligus visualisasi peta hasil analisis dalam satu program.

Telah banyak teknik analisis untuk menilai kerawanan longsor lahan, yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu metode kualitatif (heuristik), metode deterministik, dan metode statistik (Dahal, Shuichi, A, M, & T, 2008); (Samodra, Chen, Sartohadi, & Kasama, 2017)). Mengingat tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati dampak penggunaan variabel litologi yang berbeda terhadap zonasi kerawanan longsor lahan, maka model klasifikasi statistik multivariat cocok digunakan. Untuk itu, pada penelitian ini digunakan analisis regresi logistik untuk mengkuantifikasi hubungan antara probabilitas terjadinya longsor lahan dengan faktor-faktor yang memengaruhi longsor. Variabel yang digunakan pada analisis regresi logistik dapat berupa data diskrit maupun kontinyu, atau kombinasi dari keduanya, dan tidak harus terdistribusi normal (Lee, 2005). Analisis regresi logistik dideskripsikan secara detail dalam (Ozdemir & Altural, 2013) serta (Hosmer, Lemeshow, & Sturdivant, 2013). Rumus regresi logistik dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_mx_m \quad (1)$$

$$y = \log_e \left[ \frac{P}{1-P} \right] = \text{logit}(P) \quad (2)$$

$$P = \frac{e^y}{1 + e^y} \quad (3)$$

dengan  $x_1, x_2, \dots, x_m$  adalah variabel dependen dan  $y$  adalah fungsi kombinasi linier dari variabel-variabel dependen yang merepresentasikan hubungan linier. Parameter  $b_1, b_2, \dots, b_m$ , adalah koefisien regresi. Jika respon model memiliki nilai biner dinyatakan dalam  $z$ , maka nilai  $z = 1$  mengindikasikan terjadi longsor dan nilai  $z = 0$  menandakan tidak terjadi longsor.  $P$  adalah probabilitas terjadinya longsor, atau probabilitas nilai  $z = 1$ . Fungsi  $y$  merupakan logit ( $P$ ), atau

logaritma berbasis  $e$  dari *odd* atau *likelihood ratio* variabel dependen bernilai  $z = 1$ . Koefisien regresi mengindikasikan tingkat kontribusi dari masing-masing variabel dependen terhadap nilai probabilitas,  $P$ .

Untuk menilai performa prediktif dari model kerawanan longsor lahan yang dihasilkan dari analisis regresi logistik, perlu dilakukan uji validasi. Metode yang sering digunakan untuk melakukan uji validasi adalah menggunakan grafik *Receiver Operating Characteristic* (ROC) yang menunjukkan hasil dari klasifikasi biner (Chen, H, A, H, & A, 2019). (Corsini & M, 2017) menjelaskan bahwa kurva ROC dibuat dengan menghitung nilai *sensitivity* (Sen) dan *specifity* (Spe) yang didapatkan perhitungan yang melibatkan empat tipe piksel yaitu *true positive* (TP), *false positive* (FP), *true negative* (TN), dan *false negative* (FN) dengan rumus berikut:

$$\text{Sen} = \frac{\text{"Banyaknya TP"}}{\text{"Banyaknya TP"} + \text{"Banyaknya FN"}} \quad (4)$$

$$\text{Spe} = \frac{\text{"Banyaknya FP"}}{\text{"Banyaknya FP"} + \text{"Banyaknya TN"}} \quad (5)$$

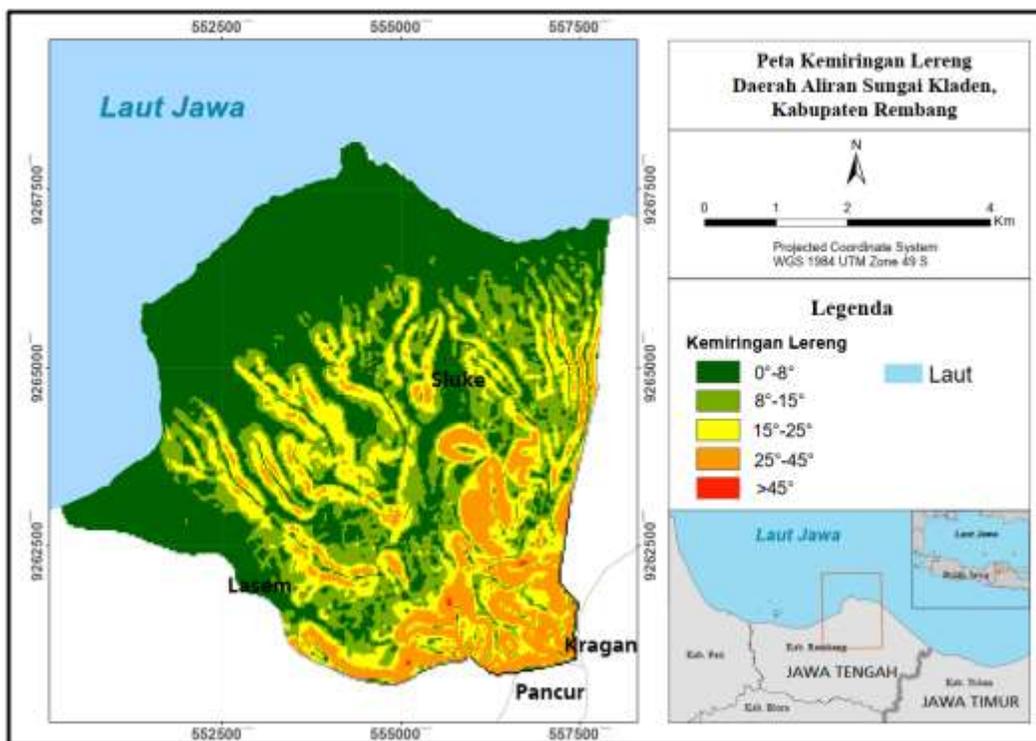
Sen disebut pula sebagai *true positive rate*, dan nilai  $(1-\text{Spe})$  adalah *false positive rate*. Pada kurva ROC, nilai Sen diplot terhadap nilai  $(1-\text{Spe})$  dan nilai area di bawah kurva (*Area Under the Curve/AUC*) digunakan sebagai angka evaluasi kemampuan prediktif dari model regresi logistik. Nilai AUC berkisar antara 0,5 – 1,0 dan model dinyatakan dapat diterima apabila angka AUC lebih besar dari 0,70 dengan peningkatan nilai AUC menunjukkan performa prediktif yang semakin baik (Hosmer, Lemeshow,, & Sturdivant, 2013)

Dalam penelitian ini, penilaian kerawanan longsor lahan menggunakan analisis regresi logistik dilakukan dua kali dan menghasilkan dua peta kerawanan. Penilaian pertama menggunakan peta-peta topografi, tutupan lahan, dan peta geologi regional sebagai variabel independen serta peta sebaran titik longsor sebagai variabel dependen. Pada penilaian kedua, semua variabel yang sama dianalisis lagi, kecuali peta geologi regional yang diganti peta geologi dengan pengelompokan batuan yang lebih rinci. Hal ini dilakukan untuk mengevaluasi apakah perincian tersebut berpengaruh positif dalam ketepatan penilaian kerawanan longsor lahan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

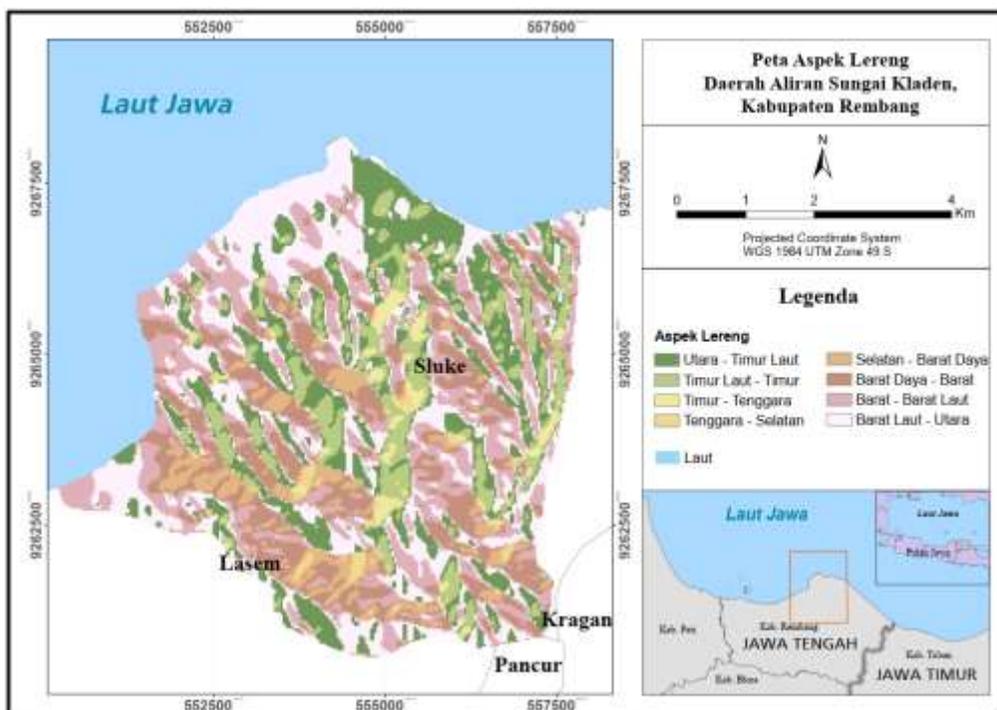
### Kondisi Geomorfologi

Topografi daerah penelitian bagian utara yang berbatasan dengan Laut Jawa dan bagian barat didominasi oleh dataran, sedangkan daerah perbukitan tersebar di bagian selatan dan tenggara. Morfologi bagian selatan dan tenggara ini merupakan lereng vulkanik yang dapat diklasifikasikan sebagai lereng sangat landai ( $0-8^{\circ}$ ) hingga lereng curam ( $25-45^{\circ}$ ). Peta kemiringan lereng yang digunakan dalam penelitian ini tidak dikelompokkan menjadi beberapa satuan lereng, melainkan dianalisis dalam bentuk nilai yang menerus (*continous*). Peta kemiringan lereng DAS Kladen dapat dilihat pada Gambar 2.

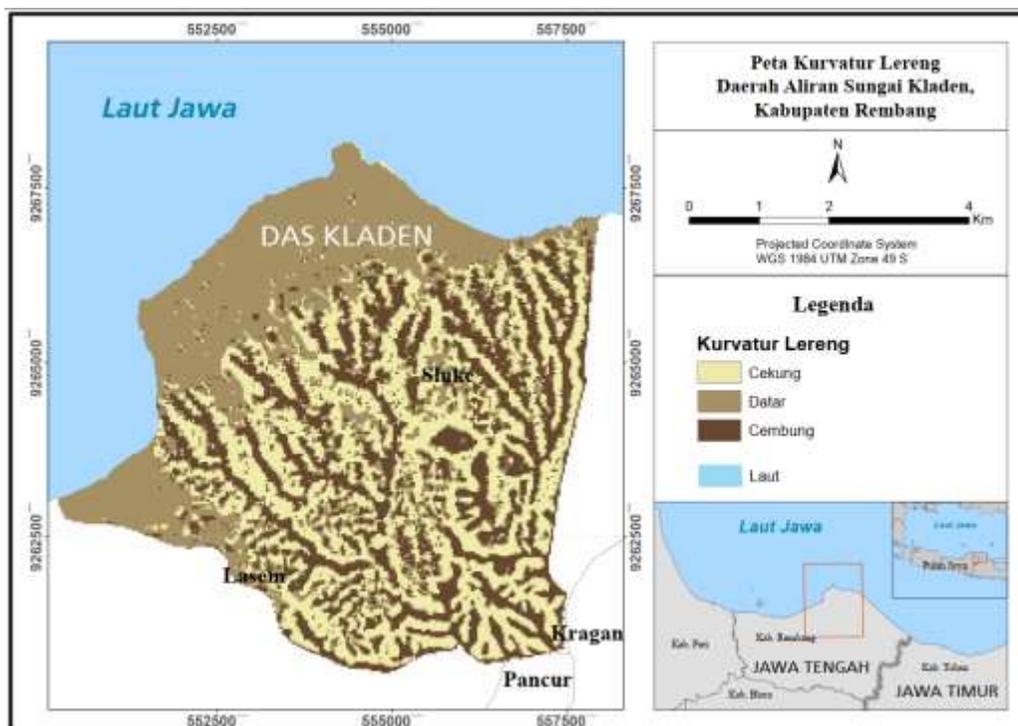


Gambar 2. Peta kemiringan lereng DAS Kladen

Aspek topografi lain yang diturunkan dari model elevasi digital dan digunakan dalam sebagai variabel independen dalam penelitian berikut adalah aspek atau arah hadap lereng dan kurvatur lereng. Aspek lereng mewakili ke arah mata angin mana suatu lereng menghadap, sedangkan kurvatur lereng menunjukkan seberapa melengkung suatu lereng. Kurvatur lereng mengidentifikasi apakah lereng tersebut cekung, datar, atau cembung. Peta aspek lereng DAS Kladen dapat dilihat pada Gambar 3 dan peta kurvatur lereng dapat dilihat pada Gambar 4.



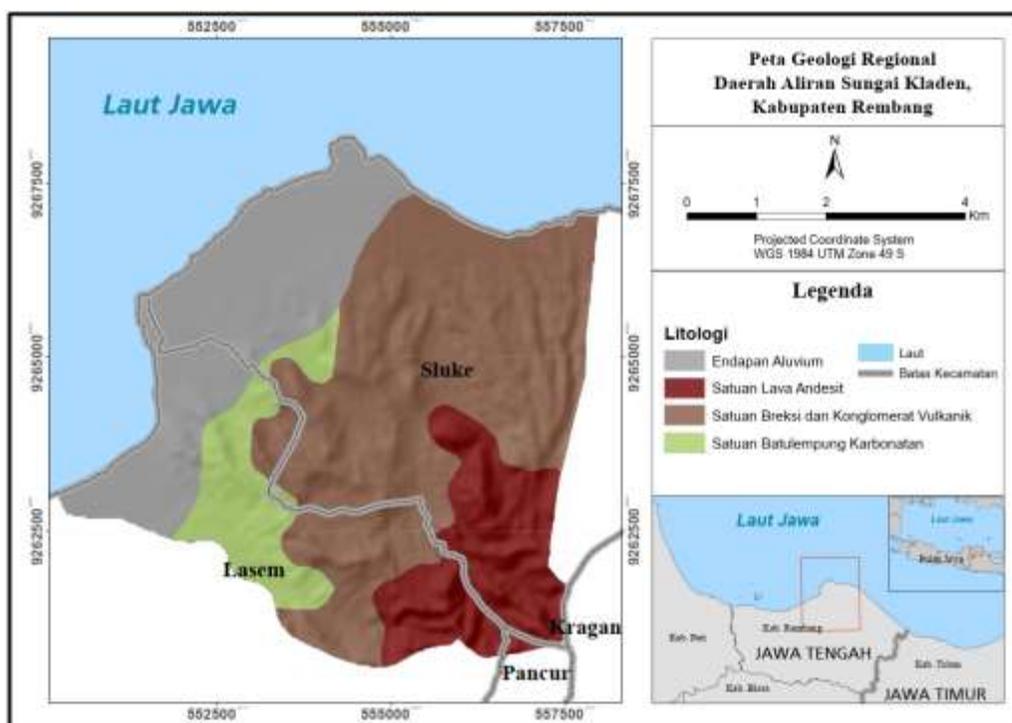
Gambar 3. Peta aspek lereng daerah aliran Sungai Kladen



Gambar 4. Peta kurvatur lereng daerah aliran Sungai Kladen

## Geologi Regional

Dalam pemetaan geologi regional Indonesia, DAS Kladen termasuk ke dalam Lembar Jatirogo (Situmorang dan van Essem, 1992) dan Lembar Rembang (Kadar dan Sudijono, 1993). Menurut peta geologi regional, daerah penelitian disusun oleh empat satuan batuan. Terlampar paling bawah sebagai satuan batuan tertua adalah kelompok batuan yang disebut sebagai Formasi Mundu, terdiri dari batuan sedimen karbonatan yang banyak mengandung fosil foraminifera planctonik. Batuan Formasi Mundu adalah satu-satunya satuan batuan di lokasi penelitian yang berumur Tersier, yaitu Miosen Tengah. Satuan batuan berikutnya yang terbentuk yaitu Andesit Lasem dan Breksi Gunungapi Lasem. Keduanya berasal dari aktivitas vulkanisme Gunung Lasem yang berumur Kuartar. Terakhir, melampar endapan aluvial yang proses pembentukannya masih berjalan hingga hari ini. Persebaran batuan yang menyusun DAS Kladen dapat dilihat pada Gambar 5.



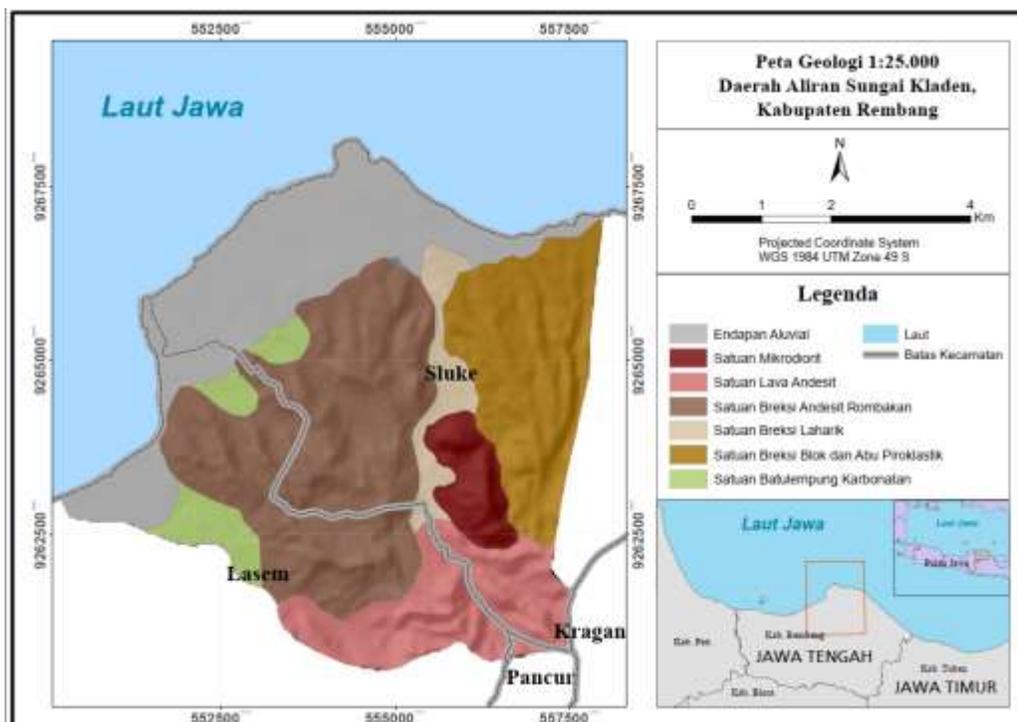
Gambar 5. Peta geologi regional daerah penelitian

Dalam sistem tektonik regional, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Rembang menurut pembagian fisiografi (Van Bemmelen, 1949. ). Struktur geologi yang berkembang pada

Zona Rembang adalah penyesaran geser dan penyesaran anjak yang membentuk antiklinorium (Soeparyono & Lennox, 1989); (Husein, Kret, & Aditya, 2015). Batulempung karbonatan Formasi Mundu yang tersingkap di daerah penelitian merupakan bagian dari sayap utara Antiklin Pamotan, salah satu tubuh antiklin yang terbentuk dari mekanisme penyesaran geser tersebut.

### Hasil Perincian Litologi

Peta geologi skala 1:25.000 disusun berdasarkan pengamatan penginderaan jauh, pemetaan geologi di lapangan, dan tambahan informasi dari penelitian petrografi produk vulkanisme Gunung Lasem (Abdillah, Harijoko, & Wibowo, 2019). Pada peta geologi yang lebih rinci ini, batuan yang menyusun daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi lima satuan litologi. Dari usia tua ke muda, lima satuan itu yakni 1) Satuan Batulempung Karbonatan, 2) Satuan Breksi Blok dan Abu Piroklastik, 3) Satuan Breksi Lahar, 4) Satuan Breksi Andesit Rombakan, 5) Satuan Lava Andesit Aliran, 6) Satuan Mikrodiorit, dan 7) Endapan Aluvial. Sebaran satuan litologi di daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta geologi skala 1:25.000 dari daerah aliran Sungai Kladen

Satuan Batulempung Karbonatan tersebar di bagian barat daerah penelitian. Satuan ini tersusun oleh batulempung karbonatan berwarna putih, berukuran butir lempung hingga lanau, dan berstruktur masif tidak berlapis. Butiran tersortasi baik. Komposisinya berupa kuarsa dan allokem karbonat. Kandungan fosil foraminifera planktonik pada satuan ini menunjukkan bahwa batuan terendapkan pada Pliosen Awal, sedangkan fosil foraminifera bentonik menguatkan indikasi lingkungan pengendapan berupa laut *outer shelf* (Aditya, 2016)

Satuan Breksi Blok dan Abu Piroklastik terdapat di bagian timur DAS Kladen. tersusun oleh breksi blok dan abu berwarna abu-abu, berstruktur masif. Butiran menyudut tajam dan tersortasi buruk. Terdapat struktur penciri berupa abu yang terelaskan, yang menunjukkan batuan terendapkan pada suhu tinggi. Tebal setiap lapisan berkisar antara 1–7 m. Komposisinya berupa fragmen andesit berukuran 10- 75 cm dan matriks material vulkanik berukuran abu hingga lapili.

Satuan Breksi Lahar melampar di bagian tengah DAS Kladen dari selatan ke utara. Batuan breksi berwarna abu-abu dengan ukuran butir fragmen 2-110 cm dan matriks abu hingga lapili. Sortasi sangat buruk, kemas terbuka, dan memperlihatkan struktur massa mengambang. Butiran berbentuk angular dan subangular. Fragmen berupa andesit berukuran blok dan matriksnya berupa material vulkanik berukuran abu hingga lapili.

Satuan Breksi Bahan Rombakan terdapat di sisi tengah bagian barat dari daerah penelitian. Satuan ini tersusun oleh breksi berwarna abu-abu kecoklatan. Ukuran butir fragmen 5–60 cm dan matriks berukuran pasir sedang hingga kasar. Batuan ini memiliki tebal lapisan sekitar 0,5–3 m dan berstruktur gradasi normal serta materialnya tersortasi dengan baik, mengindikasikan adanya proses transportasi dan sedimentasi. Sudut butiran masih tajam, menandakan jarak angkut yang masih dekat dari sumbernya. Komposisi batuan ini terdiri dari fragmen litik andesit dan matriks material vulkanik berukuran abu hingga lapili.

Satuan Lava Andesit Aliran terdapat di bagian selatan atau hulu dari daerah aliran sungai. Tersusun oleh andesit berwarna abu-abu dengan tekstur porfiritik. Ukuran kristal fenokris 0,1-15 mm dan massa dasar <1 mm. Komposisi batuan ini yaitu mineral fenokris berupa feldspar, hornblend, dan piroksen, sedangkan massa dasar berupa mineral feldspar dan gelas vulkanik.

Satuan Mikrodiorit terdapat di sebelah utara dari sebaran satuan lava andesit. Batuannya memiliki ciri fisik berwarna abu-abu dengan tekstur porfiritik. Ukuran kristal fenokris 0,3-20 mm. Komposisi mineral fenokris berupa feldspar, piroksen, dan hornblend. Satuan ini dibedakan dari satuan lava andesit berdasarkan kelimpahan fenokris yang lebih besar, yaitu sekitar 70% pada mikrodiorit dan sekitar 50% pada lava andesit (Moktikanana, Harijoko, & Wibowo, 2019). Dari aspek viskositas, mikrodiorit lebih kental sehingga memiliki waktu pembentukan kristal yang lebih lama daripada lava andesit.

Endapan aluvial menyusun bagian utara atau hilir daerah aliran sungai, yang berbatasan dengan Laut Jawa. Satuan ini tersusun oleh litik berukuran butir lempung hingga kerikil yang belum terkonsolidasi dan sampai saat ini masih mengalami proses transportasi dan deposisi oleh agen air permukaan.

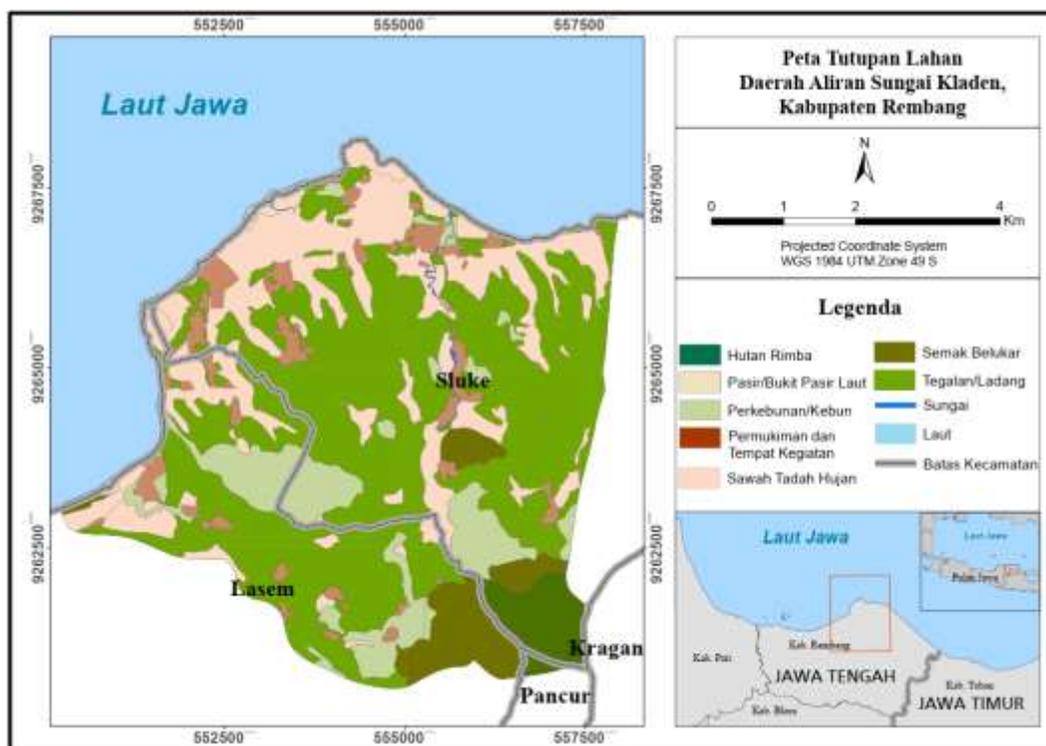
### **Tutupan lahan**

Data tutupan lahan pada daerah penelitian didapatkan dari Peta Rupa Bumi Indonesia yang dirilis oleh Badan Informasi Geospasial pada tahun 2018. Tutupan lahan DAS Kladen dikelompokkan menjadi delapan kelas menurut pembagian tutupan lahan (Hadmoko, Lavigne, Sartohadi, Hadi, & Winaryo, 2010), yaitu permukiman/tempat kegiatan, sawah, tegalan/ladang, perkebunan, semak belukar, hutan rimba, sungai, dan pasir/bukit pasir laut. Tegalan/ladang memiliki sebaran paling luas, disusul sawah dan perkebunan. Sebagian besar lahan telah dibudidayakan, menyisakan area semak belukar dan hutan rimba di bukit-bukit berlereng curam di bagian hulu daerah aliran sungai. Luas masing-masing satuan tutupan lahan tertera pada Tabel 1.

Ladang dan perkebunan menjangkau wilayah-wilayah bertopografi perbukitan yang elevasinya masih relatif rendah, yaitu di bawah 500 mdpl. Lereng yang lebih landai ditanami tumbuhan kecil seperti lombok, ketela, kopi, dan kacang hijau. Sementara pada daerah berlereng lebih terjal ditanami tumbuhan besar seperti mangga, jati, dan sejumlah kecil cengkeh atau nangka. Pada daerah perkebunan dan tegalan inilah longsor sering terjadi, dan jarang terjadi di pusat permukiman yang banyak tersebar di wilayah datar di bagian hilir daerah aliran sungai. Peta tutupan lahan DAS Kladen dapat dilihat pada Gambar 7.

Tabel 1. Luas satuan tutupan lahan

Tutupan lahan	Luas Kelas (m <sup>2</sup> )	Persentase Luas (%)
Permukiman dan tempat kegiatan	2.271.135	6,21
Sawah tadah hujan	7.422.111	20,28
Tegalan/ladang	18.708.185	51,12
Perkebunan	4.138.283	11,31
Semak belukar	2.240.714	6,12
Hutan rimba	1.303.721	3,56
Sungai	97.398	0,27
Pasir/bukit pasir laut	413.833,6	1,13

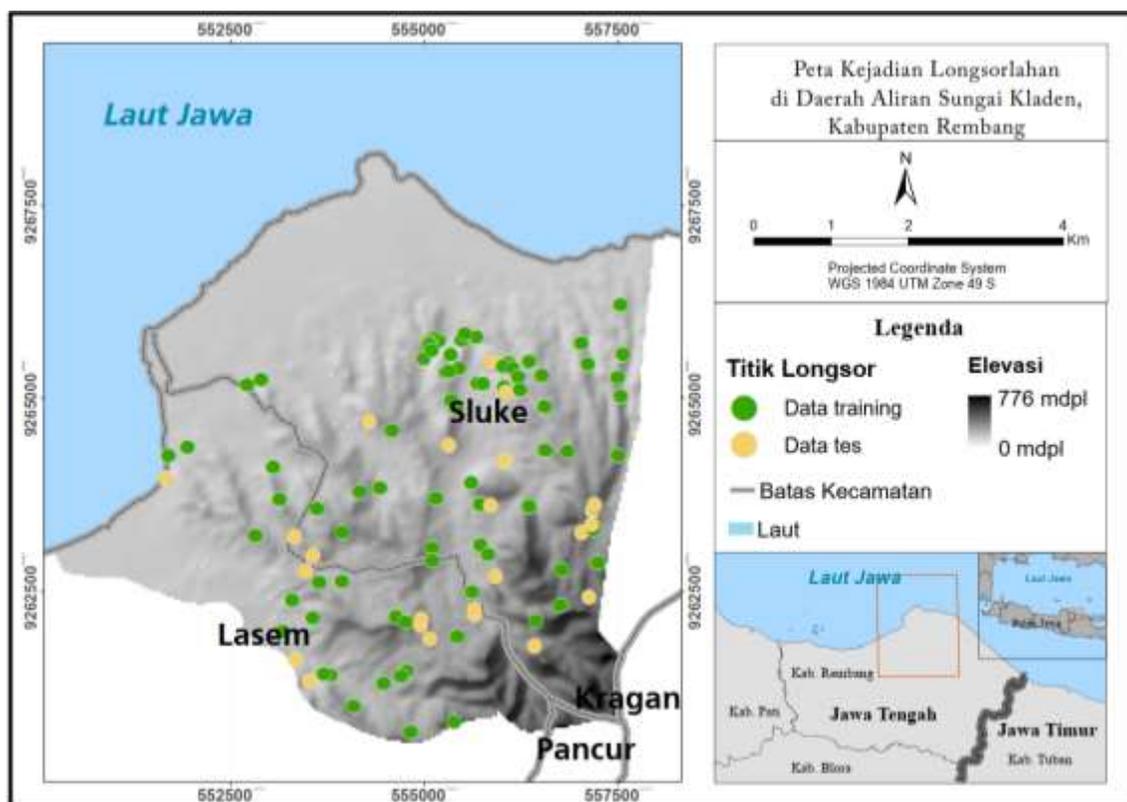


Gambar 7. Peta tutupan lahan daerah aliran Sungai Kladen

## Sebaran Kejadian Longsor lahan

Data yang memuat lokasi kejadian longsor lahan di DAS Kladen belum tersedia sehingga peta inventori titik longsor disusun dari pengamatan di lapangan. Hampir seluruh data longsor lahan yang diperoleh sebagian besar tidak diketahui kapan waktu kejadiannya karena tidak tercatat dalam laporan pemerintah setempat. Pengecualian hanya pada kejadian longsor lahan yang menimbulkan korban jiwa di Desa Gowak, Kecamatan Lasem pada Januari 2006. Titik-titik longsor lain direkam berdasarkan keterdapatannya bekas-bekas longsor. Kemungkinan besar waktu kejadiannya jauh setelah longsor lahan Gowak 2006, yang jejaknya tak lagi tampak.

Dari data pengamatan di lapangan dan pengumpulan informasi dari penduduk di daerah penelitian, tercatat terdapat 108 titik kejadian longsor. Dari jumlah ini, 81 atau 75% di antaranya digunakan sebagai data *training*, dipilih secara acak dan 27 sisanya sebagai data tes. Gambar 8 menunjukkan distribusi titik kejadian longsor lahan di DAS Kladen.



Gambar 8. Peta sebaran titik longsor di DAS Kladen.

## Hasil Analisis Regresi Logistik Menggunakan Variabel Peta Geologi Regional

Pada tahapan ini, analisis regresi logistik dilakukan dengan menggunakan variabel jenis batuan/litologi yang sesuai dengan pembagian peta geologi regional. Peta litologi tersebut dianalisis regresi logistik beserta variabel kemiringan lereng, aspek lereng, kurvatur lereng, dan tutupan lahan. Analisis ini menghasilkan nilai koefisien beta, *standard error*, *z-value*, dan *p-value* yang dinyatakan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil analisis regresi menggunakan peta geologi regional

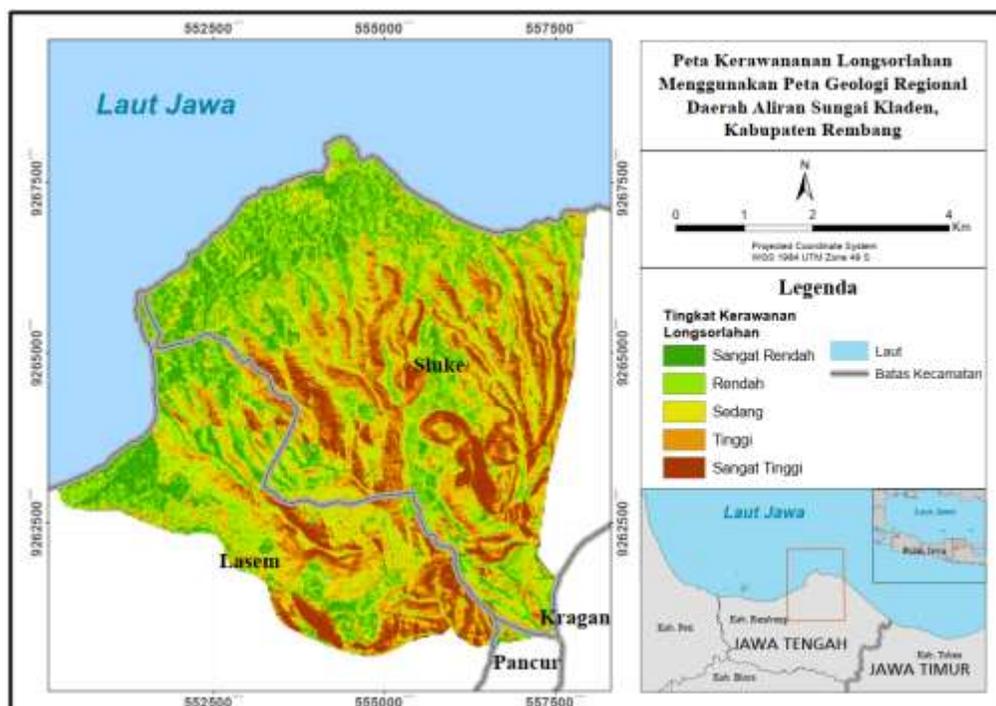
	<b>Koefisien</b>	<b>Std Error</b>	<b>Z-value</b>	<b>P-value</b>
<b>Intersep</b>	-2,1951	0,86158	-2,548	0,01084*
<b>Litologi</b>	0,14464	0,23278	0,621	0,53437
<b>Kemiringan Lereng</b>	0,06177	0,02397	2,575	0,01002*
<b>Aspek lereng</b>	-0,00325	0,00144	-2,261	0,02375*
<b>Kurvatur lereng</b>	-0,13689	0,08846	-1,547	0,12175
<b>Tutupan lahan</b>	0,22675	0,08478	2,675	0,00748**

Dari analisis tersebut, didapati bahwa variabel litologi memiliki nilai signifikansi 0,534, lebih besar dari nilai taraf keberartian 0,05, sehingga dapat dinyatakan bahwa litologi merupakan variabel yang tidak berpengaruh terhadap kerawanan longsor lahan. Demikian pula pada variabel kurvatur lereng dengan nilai signifikansi 0,122, lebih besar nilainya dari taraf keberartian dan pengaruhnya tidak signifikan terhadap kerawanan longsor lahan.

Nilai signifikansi pada variabel tutupan lahan (0,007), kemiringan lereng (0,010), dan aspek lereng (0,024), lebih besar dari taraf keberartian 0,05, sehingga ketiganya merupakan variabel yang pengaruhnya signifikan terhadap kerawanan longsor lahan.

Berdasarkan nilai koefisien beta di antara tiga variabel yang dinyatakan memiliki signifikansi terhadap kerawanan longsor lahan, tutupan lahan memiliki nilai koefisien terbesar

dengan koefisien sebesar 0,227. Artinya, tutupan lahan adalah faktor yang paling berpengaruh terhadap kerawanan longsor lahan di daerah penelitian, dibandingkan dengan faktor kemiringan lereng yang memiliki koefisien sebesar 0,062 dan faktor aspek lereng yang memiliki koefisien sebesar 0,003. Peta kerawanan longsor lahan yang dihasilkan dari analisis ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Peta kerawanan longsor lahan di DAS Kladen yang dihasilkan dari analisis regresi logistik menggunakan variabel peta geologi regional skala 1:100.000

### Analisis Regresi Logistik Menggunakan Variabel Peta Geologi Detail

Pada tahapan ini, variabel yang digunakan dalam analisis regresi logistik adalah pembagian satuan batuan yang telah diperinci sesuai dalam peta geologi berskala 1:25.000. Variabel lain selain litologi menggunakan peta-peta yang sama seperti analisis sebelumnya. Analisis ini menghasilkan nilai koefisien beta, *standard error*, *z-value*, dan *p-value* yang dinyatakan dalam Tabel 3.

Dari analisis tersebut, didapati bahwa variabel litologi memiliki nilai signifikansi 0,007, jauh lebih kecil dari taraf keberartian 0,05, sehingga dapat dinyatakan bahwa litologi merupakan variabel yang signifikan pengaruhnya terhadap kerawanan longsor lahan. Demikian pula pada

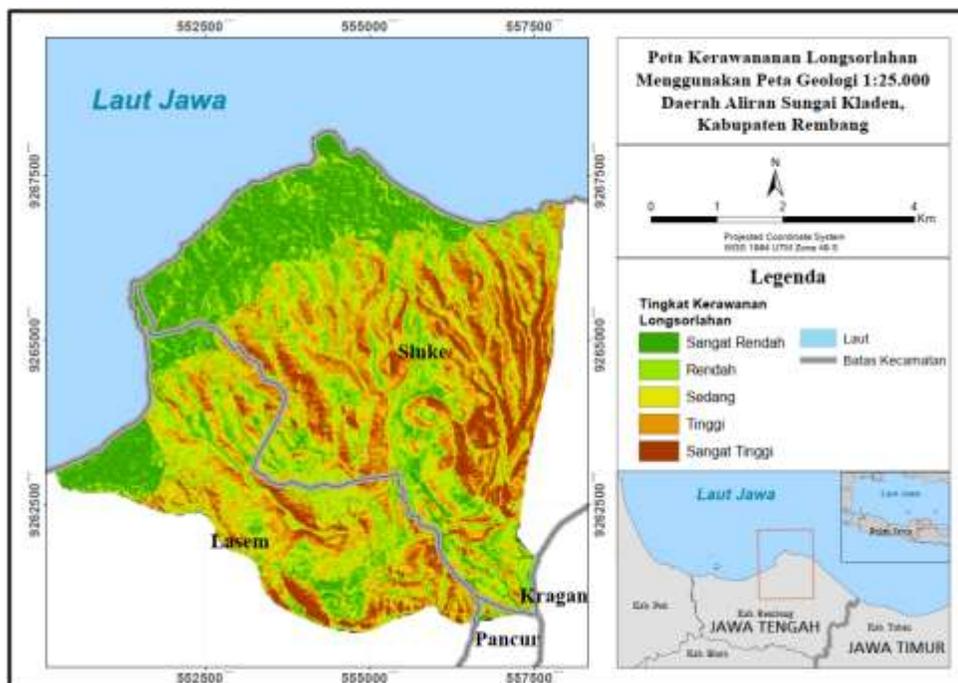
variabel kemiringan lereng yang bernilai signifikansi 0,005 dan variabel aspek lereng yang bernilai signifikansi 0,049.

Sementara faktor tutupan lahan menghasilkan nilai signifikansi (0,069) yang lebih besar daripada taraf keberartian. Artinya, faktor tutupan lahan dinyatakan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kerawanan longsor lahan di DAS Kladen. Demikian pula faktor kurvatur lereng dengan nilai signifikansi 0,107, yang lebih besar dari taraf keberartian dan oleh karena itu dinilai sebagai variabel yang tidak signifikan pengaruhnya.

Berdasarkan nilai koefisien beta di antara tiga variabel yang dinyatakan memiliki signifikansi terhadap kerawanan longsor lahan, litologi memiliki nilai koefisien terbesar, yaitu 0,331. Artinya, jenis batuan adalah faktor yang paling berpengaruh terhadap kerawanan longsor lahan di daerah penelitian, dibandingkan dengan faktor kemiringan lereng yang memiliki koefisien sebesar 0,057 dan faktor aspek lereng yang memiliki koefisien sebesar 0,003. Peta kerawanan longsor lahan yang dihasilkan dari analisis ini dapat dilihat pada Gambar 10.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil analisis regresi menggunakan peta geologi rinci

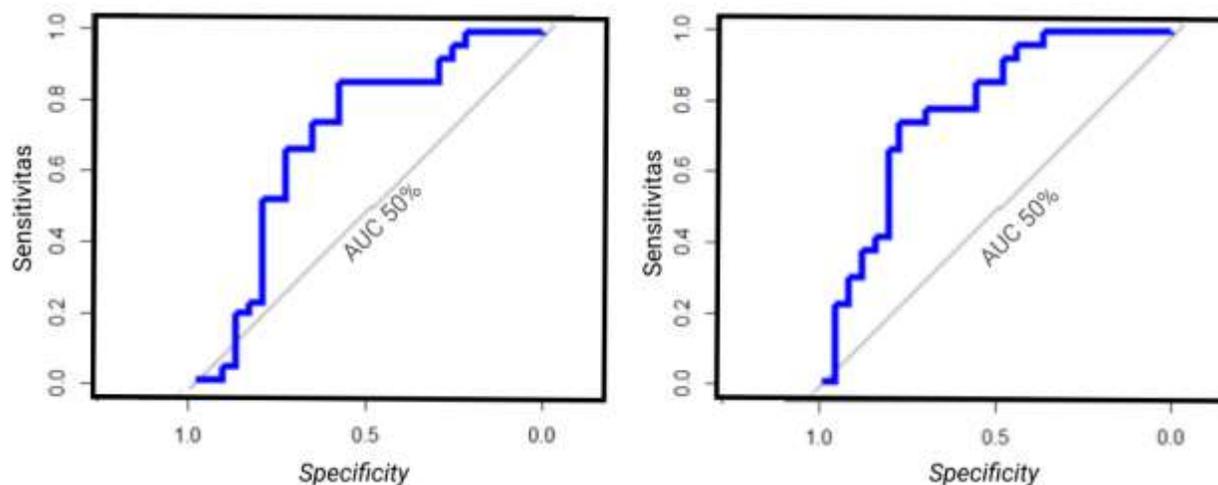
	<b>Koefisien</b>	<b>Std. Error</b>	<b>Z-value</b>	<b>P-value</b>
<b>Intersep</b>	-3,171779	0,931024	-3,407	0,000657
<b>Litologi</b>	0,331391	0,123115	2,692	0,007108**
<b>Kemiringan Lereng</b>	0,057340	0,020698	2,770	0,005600**
<b>Aspek lereng</b>	-0,002908	0,001481	-1,964	0,049489*
<b>Kurvatur lereng</b>	-0,143671	0,089073	-1,613	0,106754
<b>Tutupan lahan</b>	0,160086	0,088017	1,819	0,068940



Gambar 10. Peta kerawanan longsor lahan di DAS Kladen yang dihasilkan dari analisis regresi logistik menggunakan variabel peta geologi skala 1:25.000

### Uji Validasi Peta Kerawanan Longsor lahan

Dalam penyusunan peta kerawanan longsor lahan, uji validasi dilakukan guna mengetahui performa prediktif dari model yang dihasilkan oleh analisis statistik. Pada penelitian ini, model diuji dengan metode area di bawah kurva *Receiver Operating Curve* (AUROC). Uji validasi pada analisis regresi logistik pertama yang menggunakan peta geologi regional menunjukkan nilai AUC sebesar 0,704, sedangkan pada analisis kedua yang menggunakan peta litologi lebih rinci menghasilkan nilai AUC sebesar 0,782 (Gambar 11). Hasil uji tersebut menunjukkan bahwa model telah memenuhi kriteria dapat diterima ( $>0,70$ ) menurut (Hosmer, Lemeshow,, & Sturdivant, 2013) dengan perbaikan performa prediktif setelah mengganti peta geologi regional dengan variabel peta litologi lebih rinci.



Gambar 11. Kurva uji validasi terhadap analisis pertama yang menggunakan peta geologi regional (kiri), dan analisis kedua yang menggunakan peta geologi lebih rinci (kanan).

## Pembahasan

Pada penyusunan peta kerawanan longsor lahan, faktor litologi merupakan salah satu variabel utama yang dipakai dalam banyak penelitian. Hampir semua zona kerawanan yang dihasilkan menunjukkan adanya keterkaitan antara jenis batuan dengan kerawanan longsor lahan. Bagaimanapun, analisis kerawanan longsor lahan menggunakan peta geologi regional yang tersedia untuk daerah aliran Sungai Kladen memperlihatkan bahwa kerawanan longsor lahan di wilayah tersebut tidak berkaitan dengan jenis batuan, sebab variabel litologi tidak menunjukkan nilai signifikansi secara statistik. Hal ini diduga terjadi karena pembagian satuan batuan dan penarikan batas peta geologi regional yang kurang tepat, sehingga sebaran spasial satuan batuan tidak terpetakan dengan semestinya. Ketidaktepatan sebaran satuan batuan tersebut tentu menyebabkan asosiasi antara jenis batuan dan kerawanan longsor lahan tidak terrepresentasikan dengan baik.

Setelah mengganti variabel peta geologi regional dengan peta yang pembagian satuan batuanya telah diperbaiki, variabel litologi menunjukkan signifikansi secara statistik. Tingkat akurasi model juga naik, dilihat dari nilai AUC yang sebesar 0,704 pada analisis pertama, menjadi 0,782 pada analisis kedua.

Dari analisis yang menggunakan variabel peta geologi lebih rinci, kerawanan sangat tinggi mendominasi sisi timur DAS Kladen. Wilayah tersebut tersusun oleh satuan batuan breksi

blok dan abu piroklastik. Sementara pada wilayah yang tersusun oleh satuan breksi andesit rombakan, tingkat kerawanan didominasi sedang sampai tinggi. Tingkat kerawanan di satuan lava andesit, satuan mikrodiorit, dan satuan breksi lahar cenderung lebih rendah.

Fakta di atas mengindikasikan bahwa satuan batuan sesama produk aktivitas gunungapi memiliki kerawanan longsor lahan yang beragam. Satuan lava andesit dan satuan mikrodiorit merupakan batuan beku. Kedua jenis batuan ini memiliki kohesivitas internal yang lebih kuat dan impermeabel dibandingkan produk gunungapi berupa endapan piroklastik atau endapan material rombakan, yang secara mekanisme pembentukan dan sifat fisik lebih dekat pada batuan sedimen dan bersifat lebih permeabel, serupa dengan pernyataan (Guzzetti, Mondini, Cardinali, Fiorucci, & Sant, 2012). Umur batuan yang relatif muda membuat faktor proses pelapukan dan peretakan oleh proses tektonik belum signifikan dalam meningkatkan kerawanan longsor lahan di satuan lava andesit dan satuan mikrodiorit.

Kekuatan batuan merupakan faktor yang memengaruhi perubahan nilai akurasi dalam penelitian (Henriques, Zêzere, & Marques, 2015). Dalam studi tersebut, performa prediksi kerawanan longsor lahan di daerah aliran sungai Arnoia, Portugal membaik setelah pembagian satuan batuan didetailkan. Satuan kompleks batupasir dan batulempung dibagi menjadi dua subsatuan, yaitu kompleks batuan yang didominasi batupasir dan kompleks batuan yang didominasi batulempung. Satuan yang didominasi material berukuran pasir memiliki sifat fisik lebih kuat daripada satuan yang didominasi material sedimen berukuran lempung. Memisahkan keduanya menjadi satuan batuan yang berbeda menunjukkan bahwa frekuensi kejadian longsor lebih banyak terjadi pada satuan batuan dengan dominasi material lempung. Asosiasi antara kerawanan longsor lahan dengan sebaran litologi tampak lebih jelas setelah batuan dikelompokkan ke dalam dua subsatuan berbeda.

Penelitian (Bhandari & Dhakal, 2018) yang menganalisis asosiasi kerawanan longsor lahan dengan litologi di DAS Siwalik, Nepal, menyatakan bahwa satuan batuan konglomerat dominan menyusun wilayah yang sering terjadi longsor lahan. Faktor yang membuat satuan konglomerat mudah longsor adalah mudahnya kerekatan material semen akibat pelapukan dan erosi. Hal serupa dapat dijumpai di DAS Kladen. Tingkat kerawanan tinggi hingga sangat tinggi banyak dijumpai pada wilayah yang tersusun oleh satuan breksi blok dan abu piroklastik serta satuan breksi andesit rombakan. Breksi, sebagaimana konglomerat, tersusun oleh bagian-bagian

yang dapat disebut sebagai fragmen dan matriks. Sementara satuan breksi lahar, meski sama-sama terdiri dari komponen semen dan matriks, menunjukkan tingkat kerawanan rendah hingga sedang karena satuan ini hanya tersingkap di topografi berupa lembah, yang memiliki kemiringan lereng landai.

Setelah jenis batuan, kemiringan lereng juga berpengaruh signifikan terhadap kerawanan longsor lahan di daerah penelitian. Kemiringan lereng memiliki pengaruh besar sebab semakin besar tingkat kemiringan suatu lereng, maka akan semakin besar pula gaya gravitasi yang bekerja padanya dan mengurangi kestabilan lereng tersebut (Guzzetti, Mondini, Cardinali, Fiorucci, & Sant, 2012); (Reichenbach, Rossi, Malamud, Mihir, & Guzzetti, 2018). Teori tersebut secara umum berlaku pada lereng dengan kemiringan kurang dari  $35^\circ$ . Frekuensi longsor lahan akan berkurang di daerah yang kemiringan lerengnya lebih dari  $35^\circ$  karena pada umumnya daerah berlereng sangat curam memiliki lapisan tanah yang tipis atau bahkan tidak terlapisi tanah sama sekali, melainkan berupa batuan dasar yang bersifat kokoh (Ohlmacher, 2000).

Dalam peta kerawanan longsor lahan di DAS Kladen, kecenderungan lereng dengan kemiringan lebih tinggi memiliki kerawanan yang lebih besar terhadap longsor lahan terjadi pada satuan breksi andesit rombakan dan satuan breksi blok dan abu piroklastik. Pada dua satuan tersebut, kerawanan longsor lahan yang tinggi menempati daerah sisi punggung bukit yang terjal. Sementara bagian bukit yang berlereng lebih landai, didominasi kerawanan rendah hingga sedang. Hal ini tidak dijumpai pada satuan lava andesit dan mikrodiorit, yang secara umum memiliki derajat kemiringan lereng lebih tinggi daripada kedua batuan di atas. Faktor sifat fisik batuan yang kokoh mampu menjaga kestabilannya sehingga tingkat kerawanan di dua wilayah ini relatif lebih rendah.

Hasil perbandingan antara dua hasil analisis regresi logistik yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan adanya dampak positif penyusunan peta geologi lebih detail terhadap pemetaan kerawanan longsor lahan. Secara statistik, performa prediktif peta kerawanan yang dihasilkan dari peta geologi yang lebih detail menunjukkan akurasi yang baik. Nilai area di bawah kurva ROC (AUROC) meningkat sebesar 0,078 poin, dari 0,704 ke 0,782 setelah variabel peta geologi diubah menjadi lebih detail. Selisih antara dua pengujian performa prediktif tidak menunjukkan angka lebih besar ( $>0,10$ ) disebabkan oleh sifat analisis yang multivariabel. Selain faktor geologi, hasil peta kerawanan juga ditentukan oleh faktor geomorfologi dan tutupan lahan.

Kemungkinan terdapat pula faktor lain yang juga mengontrol kerawanan lahan di daerah penelitian tapi belum diikuti dalam analisis pada penelitian ini, misalnya faktor curah hujan, kondisi air tanah, atau faktor konstruksi jalan (Reichenbach, Rossi, Malamud, Mihir, & Guzzett, 2018); (Budimir, P, & H, 2015).

Perbaikan peta geologi juga telah mengubah nilai signifikansi faktor-faktor prediktor terhadap peta yang dihasilkan. Pada analisis dengan variabel peta geologi regional, faktor yang berpengaruh adalah tutupan lahan, kemiringan lereng, dan aspek lereng. Sementara pada analisis dengan variabel peta geologi yang lebih detail, faktor yang berpengaruh adalah faktor geologi, kemiringan lereng, dan aspek lereng. Jadi selain meningkatkan performa prediktif, perbaikan peta geologi menjadi lebih detail juga telah mengubah relevansi faktor geologi dalam penelitian kerawanan longsor lahan, dari semula dinilai tidak signifikan, menjadi faktor dengan signifikansi tertinggi dibanding faktor kemiringan lereng, aspek lereng, dan tutupan lahan.

## **KESIMPULAN**

Studi kerawanan longsor lahan di DAS Kladen ini menunjukkan pengaruh input data litologi sebagai variabel dalam analisis statistik. Variabel litologi teridentifikasi tidak signifikan secara statistik pada peta kerawanan longsor lahan yang menggunakan peta geologi regional. Namun kemudian pada peta kerawanan kedua yang memakai peta geologi skala 1:25.000, dengan perincian satuan litologi dan perbaikan pada batas satuan, variabel litologi menjadi variabel yang signifikan dan memiliki koefisien beta paling tinggi dibanding variabel lain seperti tutupan lahan dan kemiringan lereng. Perbaikan peta geologi meningkatkan performa prediksi dari 0,704 menjadi 0,782 berdasarkan validasi dengan metode area di bawah kurva. Hasil studi ini menunjukkan pentingnya memperbaiki sumber data geologi yang digunakan dalam analisis kerawanan longsor lahan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Abdillah, Y. M., Harijoko, A., & Wibowo, H. E. (2019). Karakteristik endapan aliran piroklastik Gunung Lasem, Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-12, Universitas Gadjah Mada*, (pp. 362-374). Jogjakarta.
- Aditya, H. (2016). *Mekanisme Pembentukan Struktur Geologi Pada Gunung Brama, Rembang, Jawa Tengah*. Yogyakarta: Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

- Bhandari, B. P., & Dhakal, S. (2018). Lithological control on landslide in the Babai Khola Watershed, Siwaliks Zone of Nepal. *American Journal of Earth Sciences*, 5(3), 54–64.
- Brenning, A. (2005). Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison, and evaluation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 853–862.
- Budimir, M. E., P, M. A., & H, G. L. (2015). A systematic review of landslide probability mapping using logistic regression. *Landslides*, 12(3), 419–436.
- Cardenas, N. Y., & E, E. M. (2016). Landslide susceptibility analysis using remote sensing and GIS in the western Ecuadorian Andes.
- Chen, W., H, S., A, S., H, H., & A, A. Y. (2019). Novel hybrid artificial intelligence approach of bivariate statistical-methods-based kernel logistic regression classifier for landslide susceptibility modeling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(6), 4397–4419.
- Corsini, A., & M, M. (2017). Use of ROC curves for early warning of landslide displacement rates in response to precipitation (Piagneto landslide, Northern Apennines, Italy). *Landslides* 14, 1241–1252.
- Dahal, R. K., Shuichi, H., A, N., M, Y., & T, M. (2008). GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 54, 311–324.
- Fisher, R. (1961). Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. *Bulletin of Geological Society of America*, 72 (9), 1409–1414.
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., & Sant. (2012). Landslide inventory maps: new tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, Volume 112 (1–2), 42–66.
- Hadmoko, D. S., Lavigne, F., Sartohadi, J., Hadi, P., & Winaryo. (2010). Landslide hazard and risk assessment and their application in risk management and landuse planing in eastern flank of Menoreh Mountains, Yogyakarta Province, Indonesia. *Natural Hazard*, 54, 623–642.
- Henriques, C., Zêzere, J. L., & Marques, F. (2015). The role of the lithological setting on the landslide pattern and distribution. *Engineering Geology*: 189, 17–31.
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied Logistic Regression (3rd ed.)*. New Jersey: John Wiley dan Sons, Inc, New Jersey.
- Husein, S., Kret, K., & Aditya, H. F. (2015). Mekanisme perlipatan en-echelon di Antiklinorium Rembang Utara. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan ke-8, Universitas Gadjah Mada*, (pp. 224–234). Jogjakarta.
- Indonesia, K. S. (1996). *Sandi Stratigrafi Indonesia*. Jakarta: Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Kadar, D., & Sudijono. (1983). *Peta Geologi Lembar Rembang, Jawa, skala 1:100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

- Lee, S. (2005). Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, 1477-1491.
- Meten, M., PrakashBhandary, N., & Yatabe, R. (2015). Effect of landslide factor combinations on the prediction accuracy of landslide susceptibility maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 2(1), 1-17.
- Moktikanana, M., Harijoko, A., & Wibowo, H. E. (2019). Evolusi magma Gunung Lasem dan Gunung Senjong, Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-12*, (pp. 340-361). Jogjakarta.
- Nhu, V.-H., Shirzadi, A., Shahabi, H., Singh, S. K., & Al-Ansa. (2020). Shallow landslide susceptibility mapping: A comparison between logistic model tree, logistic regression, naïve bayes tree, artificial neural network, and support vector machine algorithms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2749.
- Ohlmacher, G. (2000). The relationship between geology and andslide hazards of Atchison, Kansas, and vicinity. *Kansas Geological Survey, Current Research in Earth Sciences, Bulletin 244*, 2-16.
- Ozdemir, A., & Altural, T. (2013). A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197.
- Pettijohn, FJ, Potter, P., & Siever, R. (1975). Sand and Sandstone. *Springer, New York*.
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzett, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews (Vol. 180)*, 60–91.
- Samodra, G., Chen, G., Sartohadi, J., & Kasama, K. (2017). Comparing data-driven landslide susceptibility models based on participatory landslide inventory mapping in Purwosari area. *Environmental Earth Sciences*, 76(4), 1–19.
- Situmorang, R., R, S., & Van Vessem. . (1992). *Peta Geologi Lembar Jatirogo, Jawa skala 1:100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Soeparyono, N., & Lennox, P. G. (1989). Structural development if hydrocarbon traps in the Cepu oil field, Northeast Java, Indonesia. *Proceeding of 18th Annual Convention and Exhibition of Indonesian Petroleum Association*, (pp. 139-156).
- Van Bemmelen, R. R. (1949. ). *The Geology of Indonesia*. . Den Haag: Government Printing Office, Den Haag.